

算数教育における探究型学習に関する研究

－研究者の活動をモデルにした SRP の授業を通して－

柳 民範

上越教育大学大学院修士課程 3 年

1. はじめに

(1) 背景

今日、「探究」という言葉がしばしばもちいられ、学校教育におけるその重要性が以前より指摘されている。これは、知識基盤社会と呼ばれる今日の社会において、必要な知識を自ら獲得・創造し、活用していく力がより重要視されていることが背景にある。そして、探究活動を学校教育に取り入れるさまざまな試みがなされている。

一方、「探究」とは何かということは必ずしも明確ではないものの、それを採用した指導・学習の方法は探究型学習などと呼ばれている。Artigue & Blomhøj (2013) によれば、探究型教授法 (inquiry-based pedagogy) は、学習者を数学者や科学者のような活動に導くことによって何かを教えようとする教授法とおおまかには定義されるようである。

この定義に従えば、日本の算数・数学の授業において一般的な「問題解決型授業」も、探究型教授法に含まれるであろう。なぜなら、この教授法は、科学者や数学者の探究をモデルに形成された、J. デューイの探究の理論や G. ポリアの段階説と対応させて語られることが多く (e.g. 手島, 1985; 夏坂, 2005), これらの影響を受けたと判断できるからである。

しかし、この問題解決型授業が、研究者のもつ自ら探究する力を培う探究型学習を可能にしてくれる授業であるかといえ、それも

やや疑問である。例えば、問題解決型授業では一斉指導を前提にしており、個々の学習の進度に合わせることは難しい。学習者が活動の途中であっても、教師により半ば強制的に次の段階に移行させられてしまうことがある。また、練り上げと呼ばれる全体で議論する段階では、教師が、特定の数学的知識が導出されるように議論を展開させるため、学習者は自然と教師の意図を読むような行為が生じ、自ら判断して探究を進めていくことは難しくなる。したがって、こうした活動では、学習者が自ら探究を進めるというよりは、教師が探究を主導していると考えられる。

では、より学習者主体の探究型学習はいかにして可能だろうか。筆者は、修士課程の 3 年間、このような問題意識のもと研究を重ね、その成果を修士論文にまとめた。本稿は、その 3 年間の研究成果の一部をまとめたものである。

(2) 研究目的

筆者は、研究を進めるに当たって、「教授人間学理論 (ATD)」の範疇で提案された“Study and Research Paths (SRP)” (Chevallard, 2015; 宮川他, 2016) と呼ばれる探究型学習の理論的枠組みをよりどころとした。この枠組みが新しい算数の授業をデザインする上で様々な示唆を与えてくれると考えたのである。その理由は、第一に、SRP が実際の研究者の探究のように、使えるものは何でも使い、必要な

ものは必要に応じて学習し、様々な分野を横断しながら行う探究活動を想定しているためである。これにより、従来の授業に比べて、学習者の関心に沿った主体的な学習が可能になると考えた。第二の理由は、SRPが、問題解決型授業のような段階ではなく、「問いと回答の往還」や「メディア・ミリューの往還」といった独特の概念で探究を捉えていることである。この捉え方が教師主導で段階を踏んで探究を進める授業とは異なる授業を可能にしてくれると考えたのである。

一方で、SRPに関する先行研究を振り返ると、これまでは中等教育や大学での実践、すなわち数学的な知識をある程度持ち合わせた学習者を対象とした実践が多い。確かに、必要なものは必要に応じて学習するとはいえ、数学の探究にはある程度最低限の知識が必要であるとも考えられ、既存の知識の乏しい小学校の児童には探究は難しいように思える。そこで一つの疑問が生じる。それは、既存の知識が少なくても、必要な知識は必要に応じて学習しながら探究していくことは可能なのだろうか、ということである。

そこで修士論文では、小学校の算数教育に、SRPのアイデアを取り入れることでいかなる探究型学習を可能にしてくれるのかを明らかにすることを目的とした。とりわけ、既存の知識や技能の少なさが探究にどのように影響するかを明確にしようと試みた。

(3) 研究方法

上述の目的を達成するために、本研究ではまず、SRPに基づいた授業を小学生を対象に設計し実践することとした。そして、その教授実験で収集したデータをATDの諸概念を用いて分析し、そこでいかなる探究が生じていたのかを示す。さらに、その分析結果により明らかになったSRPの授業の様相と、一般的に行われている問題解決型授業とを比較しながら、SRPの授業ではどのような学習が生じていたのかを考察した。

2. 日本の算数授業

本章では、問題解決型授業とSRPの授業を比較する準備として、問題解決型授業とはいかなる授業であり、どのような課題があると考えられるかを明確にする。

(1) 問題解決型授業の概要

日本数学教育学会研究部小学校部会(2001)の調査によると、問題解決型の授業を「いつも行う」、「しばしば行う」と答えたのは全体の半数以上であり、「たまに行う」を合わせると全体の96%であった。日本の算数授業では、ほとんどの場合、問題解決型でなされていることがわかる。

問題解決型授業とは、一般的には、「問題把握、自力解決、練り上げ、まとめ」といった段階を踏みながら、数学の新しい概念や、数学特有の考え方や態度を学ぶ授業のことである(中村, 2015; 藤井, 2015)。具体的には以下の通りである。

「問題把握」の段階では、主に教師から問題が提示され、その問題の場面を、学習者が理解するための活動が行われる。次に、その問題について学習者が、個人またはグループで考え、答えを導き出す、「自力解決」と呼ばれる活動が行われる。次に、数人の学習者が、自分の回答を発表し、それらの考え方について全体で話し合うことを通して、数学的な知識や考え方を明確にしていく、「練り上げ」という活動が行われる。最後に、そこで議論された数学的知識や考え方の要点を、主に教師がまとめる、「まとめ」と呼ばれる活動が行われる(cf. 夏坂, 2005; 溝口, 2010)。

(2) 問題解決型授業の課題

問題解決型授業の課題の一つに個人差に合わせることが難しいという点が挙げられる。例えば、授業で扱われる問題は、学習者にとって初めて取り組むものであり、解けなくて当然の問題である。であれば、「自力解決」の段階ですべての学習者が解答を求められるはずがない。中には、解法が思いつかず、教師

からの解答をただ待つものもいるだろう。そのような状況で、「練り上げ」を行った場合、その活動に主体的に参加できる可能性があるのは、解答を求められたもの、あるいは、解答までは導き出せなくとも解法を考えるために試行錯誤するといった数学的活動を行えたものだけである。学習者一人一人の準備状況や必要性に応じて学習が深まっていくように授業を展開することは極めて難しい。

また、学習の内容に多少偏りが生じていることが先行研究において指摘されている。例えば、西村・長崎 (2008) によれば、「算数・数学においては、算数・数学の理論的な内容を理解し発展させる側面と、算数・数学と現実のつながりを大切にする側面の両者のバランスの取れた教育が必要」(p.2) と考えられるものの、日本では、「ともすると前者の理論的な発展だけに偏りがち」(p.2) とのことである。さらに、阿部 (2009) は、ヴィットマンほか (2004) の、数学とは『『応用指向』と『構造指向』の2つの相補的側面をもつ『パターンの科学』であるという捉え方を引用しながら、これまでの数学教育は「構造指向」に重きが置かれてきたと指摘し、数学が明示的・暗黙的に実体化された今日の社会では、それを読み解く応用指向の数学の重要性が高まってくると述べる。このように、現実社会とつながりのある数学や、応用指向の数学を授業で扱う方法も考える必要がある。

3. 理論的枠組み

本研究では、「教授人間学理論 (ATD)」において定式化されている“Study and Research Paths (SRP)”という探究型学習の枠組みを基に授業をデザインした。以下では、SRPの背景にある「世界探究パラダイム」と、SRPにおける探究の捉え方（「問いと回答の往還」、「メディア・ミリューの往還」）について説明しつつ、SRPがいかなる活動なのかを示す。

(1) 世界探究パラダイム

ATD には、「世界探究パラダイム」という教育に対する考え方がある (Chevallard, 2015)。このパラダイムに基づいた数学教育では、細分化され整理された数学の内容を一つ一つ学習することを目的とするのではなく、大学院での研究のような活動を通して、研究者の態度を育むことを目的とする。それは、人が未解決な問題に直面したとき、それがどんなに前例のないものであっても躊躇せず、ときには他者の助けを借りながら、価値ある答えに向かって、粘り強く研究する態度である。このパラダイムに基づけば、研究者の探究によって数学教育を行うことが推奨される。

(2) Study and Research Paths(SRP)

SRPは「世界探究パラダイム」を背景として、研究者の活動をモデルに探究型の学習を定式化したものである。このSRPは、ある問い (Q_0) から始まり、一つの回答を作り上げる一連の営みであり、主に二つの仕組みによって特徴付けられる。

第一に、「問いと回答の往還 (dialectic between questions and answers)」と呼ばれる活動である。学習者は、最初の問い (Q_0) に対してすぐさま回答を発見するのではなく、 Q_0 に回答するために Q_0 に部分的な回答を与えるであろう新たな問いや、 Q_0 から導かれた新たな問いが生じ、これらに取り組むことによって、部分的な回答が得られる場合もあれば、さらに新たな問いが生じることもある。このような問いと回答を行き来することにより探究が進展する。ATDでは、このような過程を図1のような樹形図 (Q-A マップ) で記述する方法が提案されている (Winsløw et al., 2013)。

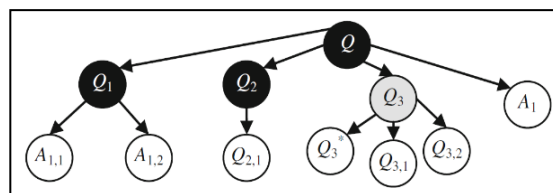


図1 Q-A マップ (Winsløw et al., 2013)

第二に、情報を探索する営みと得てきた情

報を検討し試行錯誤して回答を作り出す「メディア・ミリューの往還 (media-milieu dialectic)」と呼ばれる活動である。ミリューとは「教授意図をもたないシステム」(宮川ほか, 2016) のことを指し, 既存の解答や情報, 実験結果などがその要素になる。

そして, SRP では, このミリューを形成する要素を得るために「メディア」の利用を前提とする。ここで言う「メディア」とは, 一般的な意味でのメディア (雑誌, 新聞, ビデオなど) をはじめ, 書籍, 論文, 講義など, 何らかの教授意図が付与された媒体を指す (宮川ほか, 2016)。SRP ではメディアの利用を含め, 使えるものは何でも使い探究するのである。

4. 教授実験の概要

本章では, 授業をいかに設計したのか, そして, その授業でいかなる活動が生じたのかを概説する。

(1) 授業の設計

SRP の授業を設計するにあたり, 最も重要なのが最初の問い (Q_0) の設定である。SRP では, 学習者が疑問に思うような自然 (lively) な, そして, そこから多くの問いが生まれるような生成的 (generative) な Q_0 が望ましいとされる (宮川, 2017)。加えて, 「メディア・ミリューの往還」が活発に起こる問いである必要がある。これらを考慮して, 本授業では次のような Q_0 を設定した。

Q_0 : このクラスみんなが 1 年間に使った鉛筆に木がどれくらい使われているか

ここで「このクラス」と限定したのは, インターネットの情報だけでは回答を得られないようにし, ミリューとの活発な相互作用を促すためである。また, 手に取って観察しやすく, 普段から触れている鉛筆を題材にすることで, 実物と相互作用したり, 経験を基に考えたりできると考えた。さらに, 「どれくらい」と曖昧に問うことで, どの量で表すかに

よって多様な数学的活動が生じると考えた。

この問いから始まる SRP を, 国立大学附属小学校, 第 3 学年, 35 名のクラスを対象に実践した。活動は, 3~4 人一組の班で行うようにし, 班ごとにタブレット PC を一台与え, 自由にインターネットから情報を収集できるようにした。また, 要望に応じてその他の道具 (電卓, 電子はかり, 等) を与えた。

(2) 探究活動の概要

授業において, 教師はまず Q_0 から思いつく問いを班ごとに考え, ノートに書き, その問いの答えを考えるように指示した。児童らは, 様々な問いを發し, その中から自ら関心のある問いを選んで探究を進めていた。

最初は, インターネットに答えがあると考え, そこから答えを見つけ出そうとする班が多かったが, 次第にそこには明確な答えがないことに気づき, 実際の鉛筆の長さや重さを測定し始めた。そして, その数値を利用して答えを導き出そうとしていた。その際の数値はほとんどが小数であり, それを用いた計算をする中で「小数のわり算」や「循環小数」など, 新しい数学的知識に出合っていた。このような活動はほとんどの班で行われていたが, 教師の指示が特にあったわけではなく, 班ごとの話し合いの中で活動を決めていた。

C 班の児童は, 鉛筆の 2 つの長さを用いることで別の量が表せると考えたのか, 「鉛筆の長さ \times 鉛筆の底面の半径」という計算をしていた。この発想は, 未習の内容である 2 つの長さで「面積」を表すことに類似している。

また, A 班は, 鉛筆 100 本をまとめて柱状の束にしたときの周りの長さはどれくらいかという問いに取り組んだ。これは, この班の児童が鉛筆の周りの長さを調べていたのを見て, 教師が与えた問いである。児童らは, この問いに対して, 1 本, 2 本, 3 本, …と, 本数を増やしながら長さを測っていき, その数の増え方の規則性を見いだせば, 100 本のときがわかるのではないかというアイデアを出

し探究していた。これはつまり、「比例的推論」という未知の知識を、教師に教わることなく、自ら用いて答えを導き出そうとしていたということである。

また、多くの班で、鉛筆の木の部分のみをカッターなどで削り、その重さを用いて Q_0 に回答しようとしていた (例えば、C 班)。

他にも、 Q_0 の回答からは多少離れるが、自らの関心に沿って収集した情報から、探究していった班もあった (例えば、B 班)。

以上のように、本授業では、すべての学習者が、共通の知識について同じ活動を行っていたのではなく、学習者が、自分の関心や判断に従って、主体的に探究を進めていた。また、学習者は、既習の知識だけでなく、未習の知識も躊躇せず学習し、それを用いて答えを導き出そうとしていた。

5. 探究型授業における学習者の活動

次に、実践した授業で収集したデータを SRP に関わる理論的道具を用いて詳細に分析し、いかなる探究が生じていたのか明らかにする。その結果から、既存の知識や技能の少ない小学校の児童が SRP をどの程度進めることが可能なのか、SRP がどのような学習を生じさせるのかを考察する。

(1) 学習者の活動の分析結果

本研究では、3 つの班の活動に焦点を絞って分析した。3 つの班に絞った理由は、そうすることにより、それぞれの班の活動をより詳細に分析し考察できると考えたためである。また、全ての班を対象にしなくとも、本研究の目的を十分に達成できると考えたためである。実際、本研究の目的は、SRP の視点を取り入れた授業が、一般的な授業とどのように異なる学習をもたらしてくれるのか、その可能性を検討することである。

具体的な分析としては、学習者の活動をより明確にするため、班ごとの言動の発話記録から問いと回答を特定し、Q-A マップを作成した。問いを抽出する際、「～とは何か」といった問いの形でないものでも、発話の内容から、なんらかの問いに対して活動していると捉えられるものや、児童たちの回答からどのような問いに取り組んでいたのか推測できるものを問いとして抜き出した。

本稿では、紙面の都合上、分析結果の詳細を示すことはできないが、各班がどのような探究を進めたのか、どの程度多くの問いと回答の往還が生じたのか、といったことを各班の Q-A マップにより示す。Q-A マップは図 2、図 3、図 4 の通りである。

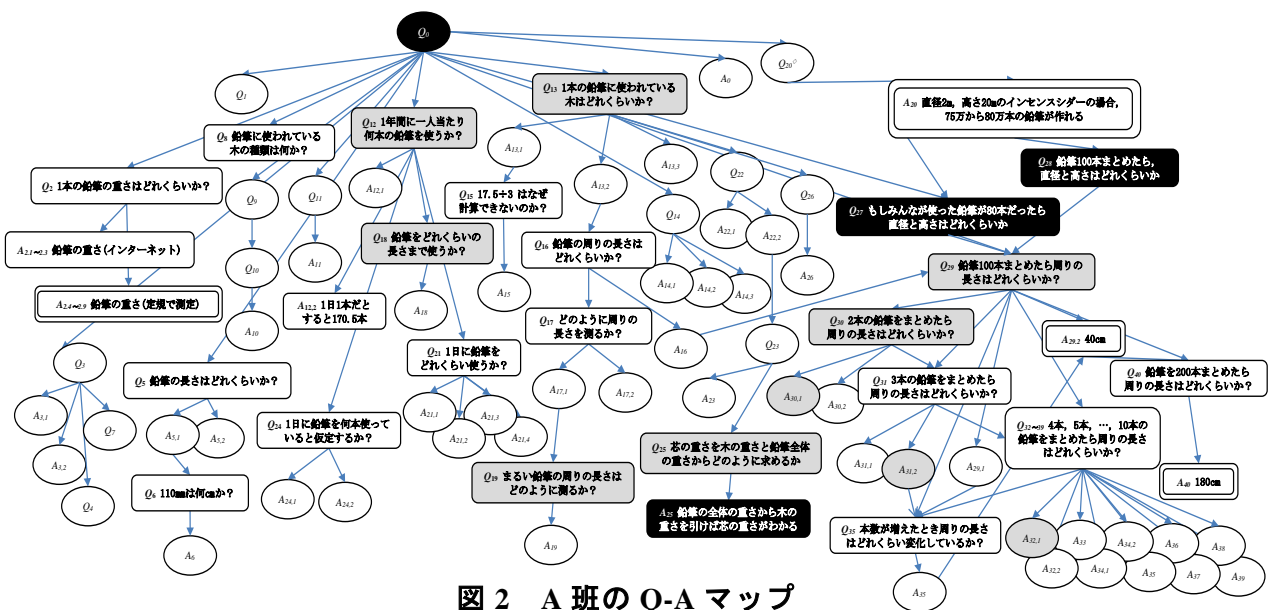


図 2 A 班の Q-A マップ

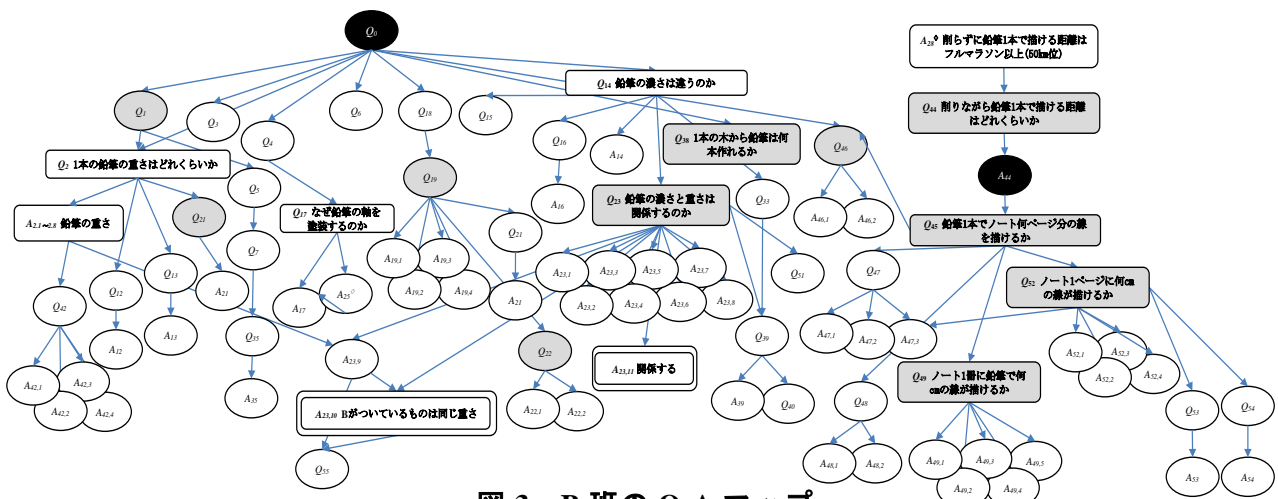


図3 B 班の Q-A マップ

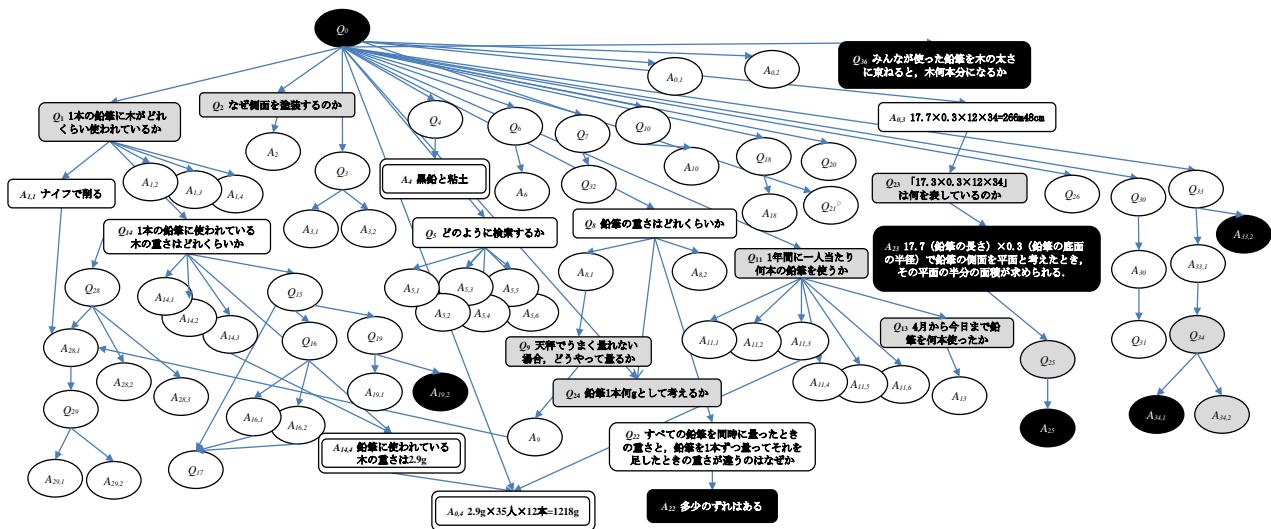


図4 C 班の Q-A マップ

(2) 考察

次に、既存の知識や技能の少ない小学校の児童が SRP をどの程度進めることが可能なのか、SRP がどのような学習を生じさせるのかを考察する。

Q-A マップより、それぞれの班で、様々な問いと回答が生じていたことがわかる。その内容は、 Q_0 に直接関係しそうなものからそうでないものまで、また、数学的なものから鉛筆の歴史に関連するものまで、幅広い分野の問いと回答であった。これは、探究の過程で様々な知識に出合っていたということである。このような問いと回答の往還は通常の授業ではあまり見られないものだろう。

また、児童自身が多くの問いを発し、その

中から取り組む問いを選んで、自ら探究を推進しようとしていたことがわかる。このように児童が自ら問いと回答を往還することは通常の授業ではあまり見られない。問題解決型授業における「練り上げ」の段階では、問いと回答を往還しながら数学的知識が浮かび上がってくる様相が見えないわけではないが、そこで取り上げられる問いは、その授業の文脈に沿っていなくてはならない上に、特定の数学的知識が明瞭になるようなものでなくてはならないため、多かれ少なかれ教師によって制御される。今回の SRP でも児童の取り組む問いに教師が介入してはいるものの、全体で共通の問いに取り組んでいるわけではなく、その制御はやや弱いものになっていた。その

証拠に、例えば、C 班の探究において、教師は児童に面積の求め方を教え、それを用いて Q_0 の回答を求めるよう促したが、それを用いることはなかった。これは、学習者が、取り組む問いや用いる知識を、主体的に選んでいたことが窺える事例である。既存の知識が少なくと教師に依存しきってしまうのではないかという懸念があったが、予想に反した結果であった。

さらに、「小数のわり算」、「循環小数」、「比例的推論」、「面積」など、小学校 3 年生には未習の知識に関わる活動が生じた点も大変興味深い。これは、この授業が未知のことでも躊躇せず自ら学習していくような状況を作り出せていたということ、指導すべき内容が事前に規定されている通常の問題解決型授業にはみられない、より主体性をとらなれた学習活動となっていたことを示している。

このように、既存知識が少ないながら自ら探究を進めていく様相が見られた一方で、既存知識の少なさが探究を妨げることもあった。例えば、インターネットで調べる経験が少ないため、周辺知識について調べる活動に時間がかかり、なかなか数学的活動に進まないということがあった。こうした活動も一つの学習ではあるのだが、数学教育の観点からすると、時間がかかりすぎてしまうことは問題であり、スムーズに数学的活動に移行させるための条件を整える必要があるだろう。

また、問いに対して適切な方法を適用できなかったり、適切な方法を選んではいるものの計算を誤ったりすることが多く見られた。実際の研究者の場合、このような場面では、自分の回答を吟味したり、様々な方法を試してその結果を検討したりしながら適切な回答を導いていくだろう。SRP でも、このような場面では、学習者が適切なテクニックを主体的に獲得していくことが望ましい。しかしながら今回の教授実験において、そのような活動は見られなかった。また、教師もそれを促

すような働きかけを行うことが出来なかった。このような活動を促進するために必要な条件を探ることは今後の課題である。

6. まとめと今後の課題

本研究では、SRP を基に授業を設計・実践し、その授業を分析した。そして、その結果を基に、SRP の授業では問題解決型授業と比べて、どのような学習が生じていたのかを考察した。これにより、SRP の授業の特徴がより明確化されたと考える。

一方で、より豊かで深い探究型学習の実現のためには更なる検討が必要である。今後の検討課題は以下の 4 つである。

- ① 学習者に探究の過程でより深い数学的考察を行わせるためには、いかなる条件が必要なのかを明らかにすること。
- ② 教師の働きかけについてより詳細に分析し、その働きかけが学習者の探究にいかに関与するのかを検討すること。
- ③ 実際に実践された問題解決授業を分析することにより、その結果と SRP を基にした授業の比較分析をすること。
- ④ 個人や班ごとの学習活動の差にいかに関与するかを検討すること。

謝辞

教授実験を行うにあたり、新潟県小学校教諭である笠井将人先生にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 阿部好貴 (2009). 「数学的リテラシー育成のための教授・学習に関する基礎的考察：問題解決学習の背景にある認識論に焦点を当てて」. 『数学教育論文発表会論文集』, 42, pp.55-60.
- 葛岡賢二・宮川健 (2018). 「教科横断型 SRP における数学的活動－「世界人口総和問題」を題材にした中学校での実践の分析－」.

- 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』，第 24 巻，第 1 号，pp.121-133.
- 手島勝朗 (1985). 『算数科問題解決の授業 (授業への挑戦 1)』，明治図書.
- 中村光一 (2015). 「第 2 章学習指導法と評価 第 1 節 学習指導法」. 藤井斉亮 編. 『教科教育学シリーズ③ 算数・数学科教育』，pp. 33-40.
- 夏坂哲志 (2005). 「第 2 章 第 2 節 ①問題解決型の指導方法とその事例」(p.58-67)，清水静海・磯田正美・大久保和義・馬場卓也監修. 『図でみる日本の算数・数学授業研究』. 明治図書.
- 西村圭一，長崎栄三 (2008). 「数学教育における算数・数学と社会をつなげる力の意義と学習指導に関する研究」，日本数学教育学会誌，第 90 巻，第 9 号.
- 日本数学教育学会研究部小学校部会 (2001). 「算数授業の方法に関する調査の結果」，日本数学教育学会誌，第 83 巻，第 2 号.
- 濱中裕明・大滝孝治・宮川健 (2016). 「世界探究パラダイムに基づく SRP における論証活動(2) —電卓を用いた実践を通して—」. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』，第 22 巻，第 2 号，pp. 59-72.
- 藤井斉亮(2015). 「序章 注入型授業から問題解決型授業へ」. 藤井斉亮編，『教科教育学シリーズ③ 算数・数学科教育』pp.10-14.
- 溝口達也(2010). 「第 10 章 指導方法」，pp.172-197，数学教育研究会編. 『算数教育の理論と実際』，聖文新社.
- 宮川健 (2011). 「フランスを起源とする数学教授学の「学」としての性格—わが国における「学」としての数学教育研究をめざして—」. 日本数学教育学会誌『数学教育学論究』，第 94 巻，pp.37-68.
- 宮川健・濱中裕明・大滝孝治 (2016). 「世界探究パラダイムに基づく SRP における論証活動 (1) —理論的考察を通して—」. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』，第 22 巻，第 2 号，pp.25-36.
- 宮川健 (2017). 「世界探究パラダイムに基づいた SRP と「問い」を軸とした数学学習」. 『日本数学教育学会 第 5 回春期研究大会論文集』，pp. 173-180.
- Artigue, M., Blomhøj, M. (2013) Conceptualizing inquiry-based education in mathematics. *ZDM Mathematics Education*, 45, pp.797-810.
- Brousseau, G. (1997). Theory of didactical situations in mathematics: Didactique des mathématiques 1970 - 1990. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chevallard, Y. (2006) . Steps towards a new epistemology in mathematics education. In Bosch, M. (ed.) Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (pp. 21-30). Barcelona, Spain: FUNDEMI-IQS.
- Chevallard, Y. (2015). Teaching mathematics intomorrow's society: a case for an oncoming counterparadigm. In S. J. Cho (Ed.) The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematics Education (pp. 173-187). Switzerland: Springer. (大滝孝治・宮川健訳. 「《翻訳》明日の社会における数学指導—来たるべきカウンターパラダイムの弁護—」. 『上越教育大学数学教育研究』，第 31 号，pp. 73-87.)
- Sensevy, G., Schubauer Leoni, M., Mercier, A., Ligozat, F., Perrot, G. (2005). An Attempt to Model the Teacher'S Action in the Mathematics Class. *Educational Studies in Mathematics*, 59, pp.153-181
- Winsløw, C., Matheron, Y., Mercier, A. (2013) . Study and research courses as an epistemological model for didactic. *Educational Studies in Mathematics*, 83 (2) , pp. 267-284.